

**BEBERAPA MASALAH ALIRAN LAPISAN SEMPADAN OLAKAN DENGAN  
KESAN GELINCIRAN DAN TANPA GELINCIRAN PADA PERMUKAAN**

**FAZLINA BINTI AMAN**

**TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH  
DOKTOR FALSAFAH**

**FAKULTI SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA  
BANGI**

**2013**

## PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang.

Alhamdulillah, walaupun pelbagai dugaan dan cabaran terpaksa ditempo sepanjang penulisan tesis ini, namun dengan rahmat dan izinNya dapat juga saya menghadapinya.

Pertama sekali jutaan terima kasih saya tujukan kepada Prof. Dr. Anuar Mohd Ishak di atas segala bimbingan dan tunjuk ajar serta ilmu yang dicurahkan dengan sabar dan tanpa rasa jemu sepanjang menjadi penyelia saya. Ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada Prof. Dr. Roslinda Mohd Nazar dan Prof. Dr. Ioan Pop di atas segala bantuan dan kepakaran yang diberikan.

Terima kasih kepada semua kakitangan Pusat Pengajian Sains Matematik, Fakulti Sains dan Teknologi dan kakitangan Pusat Pengajian Siswazah, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) di atas segala bantuan dan kemudahan sepanjang pengajian saya di UKM. Tidak dilupakan buat Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) atas kebenaran yang diberikan untuk saya menyambung pengajian ke peringkat ini dan bantuan kewangan dari mula hingga ke akhir pengajian daripada Kementerian Pengajian Tinggi (KPT) .

Jutaan terima kasih dan penghargaan buat suami, Meor Ahmad Yusran, anak-anak, Nadiah, Faheem dan Farees yang memahami dan telah banyak membantu, memberi sokongan serta dorongan kepada saya. Begitu juga kepada ibu bapa dan seluruh keluarga yang mendoakan kejayaan saya. Buat kakak, Fadhilah, terima kasih kerana sudi membantu mendapatkan bahan artikel untuk kajian saya.

Tidak dilupakan buat rakan-rakan yang turut sama memberi bantuan dari segi bahan rujukan, pemahaman, idea dan sebagainya terutama Kak Nor Azizah, Kak Norfifah dan Kak Haliza serta rakan-rakan UKM dan UTHM yang lain. Hanya terima kasih yang mampu saya ucapkan dan semoga kalian semua berjaya di dunia dan akhirat.

Akhir sekali, terima kasih buat kakitangan Perpustakaan UTHM kerana telah banyak membantu saya dalam mendapatkan bahan rujukan.

## ABSTRAK

Fenomenon kesan gelinciran pada permukaan boleh berlaku pada permukaan bendalir-pepejal dan pada permukaan lapisan bendalir-bendalir, terutama bagi sesetengah bendalir berskala kecil dalam mikroaliran. Dalam kebanyakan kajian aliran lapisan sempadan yang telah dilakukan oleh para penyelidik, didapati kesan gelinciran adalah baik bagi meningkatkan kadar pemindahan haba pada permukaan yang diperlukan dalam suatu proses penyejukan. Bagi aliran tanpa gelinciran, ciri-ciri pemindahan haba bergantung pada masalah aliran yang dikaji. Dalam tesis ini, model matematik dibina untuk mengkaji ciri-ciri aliran dan pemindahan haba bagi lima masalah aliran lapisan sempadan yang dihadkan kepada aliran mantap dua matra dalam bendalir likat tak mampat. Masalah pertama dan kedua masing-masing mempertimbangkan aliran berdekatan titik genangan dan aliran hidromagnet, kedua-duanya pada helaian tegak meregang. Masalah ketiga dan keempat mempertimbangkan syarat sempadan gelinciran, masing-masing bagi aliran terhadap titik genangan pada permukaan tegak dan aliran terhadap helaian telap mengecut. Sementara itu, masalah kelima melibatkan aliran pada permukaan meregang/mengecut di bawah aliran ricih luar dengan syarat sempadan permukaan olakan. Formulasi model matematik diperoleh dengan menurunkan persamaan pembezaan separa tak linear kepada persamaan pembezaan biasa menggunakan penjelmaan keserupaan. Analisis kepada sistem persamaan yang terhasil dimulakan dengan menyelesaikan masalah secara berangka menggunakan kaedah kotak Keller atau kaedah tembakan. Kaedah kotak Keller diatur cara menggunakan perisian MATLAB 7, manakala kaedah tembakan menggunakan atur cara “bina dalam” dalam perisian Maple 12. Seterusnya, nilai-nilai berangka bagi pekali geseran kulit dan nombor Nusselt setempat serta profil-profil halaju dan suhu diperoleh untuk pelbagai nilai parameter menakluk seperti parameter nisbah halaju, parameter keapungan, parameter magnet, parameter gelinciran halaju dan terma, nombor Prandtl, parameter olakan, parameter sedutan/semburan dan parameter regangan/kecutan. Keputusan berangka yang diperoleh dipersembahkan dalam bentuk jadual dan graf. Didapati gelinciran halaju mengurangkan pekali geseran kulit tetapi meningkatkan kadar pemindahan haba pada permukaan, manakala kesan gelinciran terma adalah sebaliknya. Suhu permukaan pula didapati bertambah dengan kehadiran medan magnet dan dengan syarat sempadan permukaan olakan. Selain itu, parameter-parameter menakluk yang lain turut mempengaruhi pekali geseran kulit dan nombor Nusselt setempat, di samping kewujudan penyelesaian dual atau unik, bagi masalah-masalah yang dikaji.

## SEVERAL CONVECTION BOUNDARY LAYER FLOW PROBLEMS WITH SLIP AND WITHOUT SLIP EFFECTS ON THE SURFACE

### ABSTRACT

The phenomenon of slip effects on a surface can occur at a fluid-solid interface and at a fluid-fluid interface, especially for some small-scale fluid in microflows. In many boundary layer flow studies that have been done by researchers, it is found that the slip effects are good to enhance the heat transfer rate at the surface that is needed in a cooling process. For flow without slip, the heat transfer characteristics depend on the flow problem being studied. In this thesis, a mathematical model is developed to study the characteristics of flow and heat transfer of five boundary layer flow problems that are limited to two-dimensional steady flow of incompressible viscous fluid. The first and second problems considered the flow near the stagnation point and the hydromagnetic flow, respectively, both on a vertical stretching sheet. The third and fourth problems considered the slip boundary conditions for the flow towards a stagnation point on a vertical surface and the flow on a permeable shrinking sheet, respectively. Meanwhile, the fifth problem is on the flow at the stretching/shrinking surface beneath an external shear flow with a convective surface boundary condition. The mathematical model formulation is obtained by reducing the non-linear partial differential equations to ordinary differential equations using a similarity transformation. Analysis of the resulting system of equations begins by solving the problem numerically using the Keller box method or shooting method. The Keller box method is programmed using MATLAB 7, while the shooting method uses the "build in" program in Maple 12 software. Then, the numerical values of the skin friction coefficient and the local Nusselt number as well as the velocity and temperature profiles are obtained for various values of the governing parameters such as velocity ratio parameter, buoyancy parameter, magnetic parameter, velocity slip and thermal slip parameters, Prandtl number, convective parameter, suction/injection parameter and stretching/shrinking parameter. The numerical results obtained are presented in tables and graphs. It is found that the velocity slip reduces the skin friction coefficient but increases the heat transfer rate at the surface, whereas the effect of thermal slip is vice versa. Moreover, the surface temperature is found to increase in the presence of magnetic field and the convective surface boundary condition. In addition, the other governing parameters also influence the skin friction coefficient and the local Nusselt number, beside the existence of dual or unique solution, to the problems studied.

## KANDUNGAN

	<b>Halaman</b>
<b>PENGAKUAN</b>	ii
<b>PENGHARGAAN</b>	iii
<b>ABSTRAK</b>	iv
<b>ABSTRACT</b>	v
<b>KANDUNGAN</b>	vi
<b>SENARAI JADUAL</b>	xi
<b>SENARAI ILUSTRASI</b>	xii
<b>SENARAI SIMBOL</b>	xvi
 <b>BAB I      PENDAHULUAN</b>	
1.1      Pengenalan	1
1.2      Proses Pemindahan Haba Olakan	2
1.3      Gelinciran pada Permukaan dan Aplikasi	4
1.4      Bendalir Likat dan Aplikasi	7
1.5      Teori Lapisan Sempadan	8
1.6      Jenis-jenis Lapisan Sempadan	10
1.6.1    Lapisan sempadan halaju	10
1.6.2    Lapisan sempadan terma	12
1.7      Pemisahan Lapisan Sempadan	13
1.8      Parameter-parameter Tanpa Matra	15
1.8.1    Nombor Prandtl, $Pr$	15
1.8.2    Nombor Nusselt, $Nu$	16
1.8.3    Nombor Reynolds, $Re$	16
1.8.4    Nombor Grashof, $Gr$	17

1.9	Permasalahan dan Sumbangan Kajian	18
1.10	Objektif dan Skop Kajian	19
1.11	Rangka Kajian	20
<b>BAB II</b>	<b>ULASAN KEPUSTAKAAN</b>	
2.1	Pengenalan	23
2.2	Aliran Olakan berdekatan Titik Genangan	23
2.3	Olakan Campuran terhadap Plat Tegak	29
2.4	Aliran Olakan terhadap Plat Meregang/Mengecut	31
2.5	Aliran dengan Kesan Gelinciran pada Permukaan	35
2.6	Aliran Magnetohidrodinamik	38
<b>BAB III</b>	<b>PERSAMAAN MENAKLUK DAN KAEDAH BERANGKA</b>	
3.1	Pengenalan	41
3.2	Persamaan Menakluk	42
3.2.1	Persamaan-persamaan asas, penghampiran lapisan sempadan dan penghampiran Boussinesq	42
3.2.2	Penjelmaan keserupaan	50
3.3	Kaedah Berangka: Kaedah Kotak Keller	57
3.3.1	Kaedah beza terhingga	58
3.3.2	Kaedah Newton	62
3.3.3	Kaedah penghapusan blok	66
3.3.4	Syarat awal	74
3.3.5	Pembangunan atur cara kaedah kotak Keller	76
<b>BAB IV</b>	<b>ALIRAN OLAKAN CAMPURAN TERHADAP TITIK GENANGAN PADA HELAIAN TEGAK MEREKANG DENGAN FLUKS HABA PERMUKAAN DITETAPKAN</b>	
4.1	Pengenalan	78

4.2	Formulasi Masalah	79
4.3	Penyelesaian Masalah	80
4.4	Kaedah Berangka: Kaedah Kotak Keller	81
4.5	Keputusan dan Perbincangan	81
4.6	Kesimpulan	87
<b>BAB V</b>	<b>ALIRAN OLAKAN CAMPURAN HIDROMAGNET BERDEKATAN PERMUKAAN TEGAK MEREKANG DENGAN FLUKS HABA PERMUKAAN DITETAPKAN</b>	
5.1	Pengenalan	94
5.2	Formulasi Masalah	96
5.3	Penyelesaian Masalah	99
5.4	Kaedah Berangka: Kaedah Kotak Keller	103
5.5	Keputusan dan Perbincangan	103
5.6	Kesimpulan	107
<b>BAB VI</b>	<b>ALIRAN OLAKAN CAMPURAN BERDEKATAN TITIK GENANGAN PADA PERMUKAAN TEGAK DENGAN GELINCIRAN DAN SUHU PERMUKAAN DITETAPKAN</b>	
6.1	Pengenalan	113
6.2	Formulasi Masalah	114
6.3	Penyelesaian Masalah	116
6.4	Kaedah Berangka: Kaedah Tembakan	117
6.5	Keputusan dan Perbincangan	119
6.6	Kesimpulan	124

## **BAB VII ALIRAN OLAKAN PAKSA TERHADAP HELAIAN TELAP MENGE CUT DENGAN GELINCIRAN DAN SUHU PERMUKAAN DITETAPKAN**

7.1	Pengenalan	130
7.2	Formulasi Masalah	131
7.3	Penyelesaian Masalah	132
7.4	Kaedah Berangka: Kaedah Tembakan	134
7.5	Keputusan dan Perbincangan	135
7.6	Kesimpulan	139

## **BAB VIII ALIRAN OLAKAN PAKSA PADA PERMUKAAN MERE GANG / MENGE CUT DI BAWAH ALIRAN RICIH LUAR SERAGAM DENGAN SYARAT SEMPADAN PERMUKAAN OLAKAN**

8.1	Pengenalan	147
8.2	Formulasi Masalah	150
8.3	Penyelesaian Masalah	151
8.4	Kaedah Berangka: Kaedah Tembakan	153
8.5	Keputusan dan Perbincangan	154
8.6	Kesimpulan	158

## **BAB IX PENUTUP**

9.1	Ringkasan dan Kesimpulan	163
9.2	Kajian Lanjutan	168

<b>RUJUKAN</b>	169
----------------	-----

## **LAMPIRAN**

A	Penjelmaan Keserupaan bagi Aliran Lapisan Sempadan Olakan Campuran terhadap Titik Genangan pada	191
---	---	-----



Helaian Tegak Meregang dengan Fluks Haba  
Permukaan Ditetapkan (Bab IV)

B	Senarai Simbol dalam Atur Cara MATLAB 7	197
C	Atur Cara MATLAB 7 bagi Aliran Lapisan Sempadan Olakan Campuran terhadap Titik Genangan pada Helaian Tegak Meregang dengan Fluks Haba Permukaan Ditetapkan (Bab IV)	198
D	Atur Cara MATLAB 7 bagi Aliran Lapisan Sempadan Olakan Campuran Hidromagnet berdekatan Permukaan Tegak Meregang dengan Fluks Haba Permukaan Ditetapkan (Bab V)	203
E	Atur Cara Maple 12 bagi Aliran Lapisan Sempadan Olakan Campuran berdekatan Titik Genangan pada Permukaan Tegak dengan Gelinciran dan Suhu Permukaan Ditetapkan (Bab VI)	208
F	Senarai Penerbitan	213



## SENARAI JADUAL

No. Jadual	Halaman
3.1 Analisis peringkat magnitud bagi persamaan momentum arah- $x$	46
3.2 Analisis peringkat magnitud bagi persamaan momentum arah- $y$	47
3.3 Analisis peringkat magnitud bagi persamaan tenaga	49
4.1 Nilai $Nu_x / Re_x^{1/2} = 1 / \theta(0)$ bagi beberapa nilai $\varepsilon^*$ , $\lambda$ , $m$ dan $Pr$	83
4.2 Nilai $C_f Re_x^{1/2}$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $m = 1$ dan $\varepsilon^* = 1$	84
4.3 Nilai $Nu_x / Re_x^{1/2}$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $m = 1$ dan $\varepsilon^* = 1$	84
4.4 Nilai $\theta(0)$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $m = 1$ dan $\varepsilon^* = 1$	84
5.1 Nilai suhu permukaan $\theta(0)$ bagi beberapa nilai $\lambda$ , $m$ , $Pr$ dan $M$	105
5.2 Nilai $C_f Re_x^{1/2}$ dan $Nu_x / Re_x^{1/2}$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $m = n = M = \lambda = 1$	105
5.3 Nilai $C_f Re_x^{1/2}$ , $Nu_x / Re_x^{1/2}$ dan $\theta(0)$ bagi beberapa nilai $M$ apabila $m = n = Pr = \lambda = 1$	106
6.1 Nilai $f''(0)$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $\lambda = 1, \phi = 0$ dan $\gamma = 0$	120
6.2 Nilai $-\theta'(0)$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $\lambda = 1, \phi = 0$ dan $\gamma = 0$	120
6.3 Nilai $C_f Re_x^{1/2}$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $\phi = 1$ dan $\gamma = 1$	121
6.4 Nilai $Nu_x / Re_x^{1/2}$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $\phi = 1$ dan $\gamma = 1$	122
7.1 Nilai $C_f Re_x^{1/2}$ dan $Nu_x / Re_x^{1/2}$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $Pr = 1$ , $s = 3$ dan $\gamma = 1$	135
7.2 Nilai $Nu_x / Re_x^{1/2}$ bagi beberapa nilai $\gamma$ apabila $Pr = 1$ , $s = 3$ dan $\phi = 1$	136

7.3	Nilai $Nu_x / Re_x^{1/2}$ bagi beberapa nilai Pr apabila $s = 3$ , $\phi = 1$ dan $\gamma = 1$	137
8.1	Nilai-nilai $-\theta'(0)$ bagi beberapa nilai parameter regangan/kecutan $\varepsilon$ dan nombor Prandtl Pr apabila parameter olakan $\zeta = 1$	155
8.2	Nilai-nilai $-\theta'(0)$ bagi beberapa nilai parameter regangan/kecutan $\varepsilon$ dan parameter olakan $\zeta$ apabila $Pr = 1$	156



## SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah	Halaman
1.1 Halaju bendalir pada permukaan jasad (a) tanpa gelinciran dan (b) dengan gelinciran pada permukaan	5
1.2 Lapisan sempadan halaju di atas plat rata	11
1.3 Lapisan sempadan terma di atas plat rata isoterma	12
1.4 Pemisahan lapisan sempadan	14
2.1 Aliran titik genangan pada plat mengufuk	24
3.1 Model fizikal dan sistem koordinat bagi aliran olakan campuran pada titik genangan	44
3.2 Garis untuk anggaran beza	59
3.3 Carta alir untuk kaedah kotak Keller	77
4.1 Pekali geseran kulit $C_f Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $\varepsilon^*$ apabila $Pr=1$ dan $m=1$	89
4.2 Nombor Nusselt setempat $Nu_x/Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $\varepsilon^*$ apabila $Pr=1$ dan $m=1$	89
4.3 Pekali geseran kulit $C_f Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $m$ apabila $Pr=1$ dan $\varepsilon^*=1.5$	90
4.4 Nombor Nusselt setempat $Nu_x/Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $m$ apabila $Pr=1$ dan $\varepsilon^*=1.5$	90
4.5 Suhu permukaan $\theta(0)$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $m$ apabila $Pr=1$ dan $\varepsilon^*=1.5$	91
4.6 Profil halaju $f'(\eta)$ bagi beberapa nilai $\varepsilon^*$ apabila $Pr=1$ , $m=1$ dan $\lambda=-4$	91
4.7 Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $\varepsilon^*$ apabila $Pr=1$ , $m=1$ dan $\lambda=-4$	92

4.8	Profil halaju $f'(\eta)$ bagi beberapa nilai Pr apabila $m=1$ dan $\varepsilon^*=1$ untuk aliran membantu ( $\lambda=1$ ) dan aliran menentang ( $\lambda=-1$ )	92
4.9	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai Pr apabila $m=1$ dan $\varepsilon^*=1$ untuk aliran membantu ( $\lambda=1$ ) dan aliran menentang ( $\lambda=-1$ )	93
5.1	Model fizikal dan sistem koordinat bagi aliran olakan campuran MHD pada permukaan meregang	96
5.2	Pekali geseran kulit $C_f Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $M$ apabila $m=1$ , $n=1$ dan $Pr=1$	108
5.3	Nombor Nusselt setempat $Nu_x/Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $M$ apabila $m=1$ , $n=1$ dan $Pr=1$	109
5.4	Pekali geseran kulit $C_f Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $m$ (dan $n$ ) apabila $Pr=1$ dan $M=1$	109
5.5	Nombor Nusselt setempat $Nu_x/Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $m$ (dan $n$ ) apabila $Pr=1$ dan $M=1$	110
5.6	Profil halaju $f'(\eta)$ bagi beberapa nilai $M$ apabila $Pr=1$ , $m=1$ , $n=1$ dan $\lambda=1$	110
5.7	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $M$ apabila $Pr=1$ , $m=1$ , $n=1$ dan $\lambda=1$	111
5.8	Profil halaju $f'(\eta)$ bagi beberapa nilai $m$ (dan $n$ ) apabila $Pr=1$ , $M=1$ dan $\lambda=1$	111
5.9	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $m$ (dan $n$ ) apabila $Pr=1$ , $M=1$ dan $\lambda=1$	112
6.1	Model fizikal dan sistem koordinat bagi aliran olakan campuran pada titik genangan	115
6.2	Pekali geseran kulit $f''(0)$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $Pr=0.7$ dan $\gamma=1$	126
6.3	Nombor Nusselt setempat $-\theta'(0)$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $Pr=0.7$ dan $\gamma=1$	126
6.4	Pekali geseran kulit $f''(0)$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $\gamma$ apabila $Pr=0.7$ dan $\phi=1$	127

6.5	Nombor Nusselt setempat $-\theta'(0)$ sebagai fungsi $\lambda$ bagi beberapa nilai $\gamma$ apabila $Pr = 0.7$ dan $\phi = 1$	127
6.6	Profil halaju $f'(\eta)$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $Pr = 0.7$ , $\gamma = 1$ dan $\lambda = -2.0$	128
6.7	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $Pr = 0.7$ , $\gamma = 1$ dan $\lambda = -2.0$	128
6.8	Profil halaju $f'(\eta)$ bagi beberapa nilai $\gamma$ apabila $Pr = 0.7$ , $\phi = 1$ dan $\lambda = -2.0$	129
6.9	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $\gamma$ apabila $Pr = 0.7$ , $\phi = 1$ dan $\lambda = -2.0$	129
7.1	Model fizikal dan sistem koordinat bagi aliran lapisan sempadan Pada helaian telap yang mengecut	132
7.2	Pekali geseran kulit $C_f Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $s$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $Pr = 1$ dan $\gamma = 1$	141
7.3	Nombor Nusselt setempat $Nu_x / Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $s$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $Pr = 1$ dan $\gamma = 1$	141
7.4	Pekali geseran kulit $C_f Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $s$ bagi sebarang nilai $\gamma$ apabila $Pr = 1$ dan $\phi = 1$	142
7.5	Nombor Nusselt setempat $Nu_x / Re_x^{1/2}$ sebagai fungsi $s$ bagi beberapa nilai $\gamma$ apabila $Pr = 1$ dan $\phi = 1$	142
7.6	Profil halaju $f'(\eta)$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $s = 3$ , $\gamma = 1$ dan $Pr = 1$ untuk (a) penyelesaian cabang atas (b) penyelesaian cabang bawah	143
7.7	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $\phi$ apabila $s = 3$ , $\gamma = 1$ dan $Pr = 1$ untuk (a) penyelesaian cabang atas (b) penyelesaian cabang bawah	144
7.8	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $\gamma$ apabila $s = 2$ , $\phi = 1$ dan $Pr = 1$ untuk (a) penyelesaian cabang atas (b) penyelesaian cabang bawah	145
7.9	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $Pr$ apabila $s = 2.5$ , $\phi = 1$ dan $\gamma = 1$ untuk (a) penyelesaian cabang atas	146

(b) penyelesaian cabang bawah

8.1	Model fizikal dan sistem koordinat bagi aliran ricih lapisan sempadan pada helaian yang mengecut/meregang	151
8.2	Geseran kulit pada permukaan $f''(0)$ sebagai fungsi $\varepsilon$ bagi sebarang nilai Pr apabila $\zeta = 1$	159
8.3	Kadar pemindahan haba pada permukaan $-\theta'(0)$ sebagai fungsi $\varepsilon$ bagi beberapa nilai Pr apabila $\zeta = 1$	160
8.4	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai Pr apabila $\varepsilon = -0.2$ dan $\zeta = 1$	160
8.5	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $\varepsilon (> 0)$ apabila Pr = 1 dan $\zeta = 1$	161
8.6	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $\varepsilon (< 0)$ apabila Pr = 1 dan $\zeta = 1$	161
8.7	Profil suhu $\theta(\eta)$ bagi beberapa nilai $\zeta$ apabila Pr = 1 dan $\varepsilon = 1$	162



## SENARAI SIMBOL

$A, a$	pemalar
$\mathbf{B}$	vektor medan magnet
$B$	pemalar; medan magnet
$B_0$	medan magnet seragam
$b$	pemalar; medan magnet teraruh
$c$	pemalar
$c_p$	haba tentu
$C_f$	pekali geseran kulit
$f$	fungsi arus tanpa matra
$\mathbf{E}$	vektor medan elektrik
$\mathbf{F}$	vektor daya jasad
$F$	fungsi hipergeometri konfluen
$F_x$	daya jasad seunit isipadu dalam arah $x$
$F_y$	daya jasad seunit isipadu dalam arah $y$
$g$	pecutan graviti
$Gr$	nombor Grashof
$Gr_x$	nombor Grashof setempat
$h$	pekali pemindahan haba
$h_f$	pekali pemindahan haba olakan
$\mathbf{J}$	vektor ketumpatan arus elektrik
$k$	kekonduksian terma
$k_B$	pemalar Boltzmann
$l$	panjang gelinciran
$L$	panjang cirian jasad; panjang rujukan
$m$	pemalar; eksponen; parameter eksponen halaju
$M$	parameter magnet
$m_i$	jisim ion
$n$	pemalar; eksponen; parameter eksponen suhu



$Nu$	nombor Nusselt
$Nu_x$	nombor Nusselt setempat
$p$	tekanan
$Pr$	nombor Prandtl
$q_w$	fluks haba permukaan
$Re$	nombor Reynolds
$Re_x$	nombor Reynolds setempat
$s$	parameter sedutan/semburan
$S$	pemalar perkadaran
$t$	masa
$T$	suhu bendalir
$T_f$	suhu bendalir olakan
$T_w$	suhu pada permukaan jasad
$T_\infty$	suhu persekitaran
$U, U_\infty$	halaju aliran bebas
$u_w, U_w$	halaju regangan/kecutan
$u, v$	komponen halaju masing-masing dalam arah $x, y$
$\mathbf{V}$	vektor halaju bendalir
$V_w$	halaju pemindahan jisim pada permukaan
$x, y$	koordinat-koordinat Cartesan

### Simbol Greek

$\alpha$	pekali resapan terma
$\beta$	pekali kembangan terma
$\gamma$	parameter gelinciran terma
$\delta$	ketebalan lapisan sempadan
$\delta_h$	ketebalan lapisan sempadan halaju
$\delta_t$	ketebalan lapisan sempadan terma
$\varepsilon$	parameter regangan/kecutan

$\varepsilon^*$	parameter nisbah halaju
$\zeta$	parameter olakan
$\eta$	pemboleh ubah keserupaan tak bersandar
$\theta$	suhu tanpa matra
$\kappa$	pemalar
$\lambda$	parameter keapungan atau parameter olakan campuran
$\mu$	kelikatan dinamik
$\mu_0$	keliangan vakum
$\nu$	kelikatan kinematik
$\rho$	ketumpatan bendalir
$\rho_\infty$	ketumpatan bendalir pada aliran bebas
$\sigma$	kekonduksian elektrik
$\tau$	tegasan ricih
$\tau_w$	tegasan ricih pada permukaan
$\nu$	kadar tegangan malar
$\Phi$	fungsi lesapan likat
$\phi$	parameter gelinciran halaju
$\psi$	fungsi arus

### Subskrip

$c$	keadaan kritikal
$w$	syarat pada permukaan
$\infty$	syarat di luar lapisan sempadan

### Superskrip

'	pembezaan terhadap $\eta$
---	---------------------------

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 PENGENALAN**

Kebanyakan aktiviti dalam bidang kejuruteraan melibatkan pengawalan terhadap tenaga yang dihasilkan oleh pembakaran bahan api atau nuklear, dan juga memastikan bahawa ia boleh diperoleh bila sahaja diperlukan. Dalam aktiviti ini, proses pemindahan haba sangat penting. Pemindahan haba merupakan proses pemindahan tenaga daripada suatu jasad ke jasad yang lain akibat daripada perubahan suhu yang wujud di antara kedua-dua jasad tersebut (Simonson 1991). Penjana kuasa daripada perubahan tenaga bahan kimia dan tindak balas nuklear melibatkan pemindahan tenaga haba yang besar. Selain itu, tindak balas kimia semasa proses pembakaran menghasilkan suhu yang tinggi yang boleh melebihi titik lebur bahan binaan peralatan. Oleh itu perlindungan yang secukupnya terhadap peralatan amat diperlukan dengan menggunakan kaedah pemindahan haba. Pengetahuan tentang pemindahan haba membolehkan suhu dikawal pada aras yang selamat. Selanjutnya, bagi suatu loji kuasa stim, pemindahan tenaga haba daripada gas panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar kepada air di dalam tiub dandang merupakan suatu proses yang penting. Kadar pemindahan haba sebenar untuk menghasilkan kadar aliran stim diperlukan. Tetapi penentuan saiz dan keluasan permukaan tiub yang diperlukan tidak mungkin dilakukan tanpa pengetahuan dalam pemindahan haba dan sifat berkenaan bahan-bahan kejuruteraan yang digunakan (Simonson 1991). Walaupun pemindahan haba sangat berkait rapat dengan penggunaan dalam kejuruteraan mekanikal, namun begitu penggunaannya semakin meluas hingga ke bidang kejuruteraan elektrik, kimia, nuklear dan pelogaman.

Tiga mekanisme pemindahan haba ialah konduksi, olakan dan sinaran. Mekanisme ini boleh berlaku secara berasingan atau serentak. Pada asasnya, mekanisme pemindahan haba secara konduksi dan sinaran berlaku dalam pepejal dan bendalir (cecair dan gas). Pemindahan haba oleh konduksi dan juga sinaran daripada permukaan pepejal ke bendalir merupakan suatu proses pemindahan haba olakan. Kajian yang dibincangkan dalam tesis ini melibatkan proses pemindahan haba secara olakan sahaja. Dalam bab ini, proses pemindahan haba olakan, gelinciran pada permukaan dan bendalir likat, masing-masing diterangkan dalam seksyen 1.2-1.4. Manakala seksyen 1.5-1.8, masing-masing mengandungi penerangan berkenaan teori lapisan sempadan, jenis-jenis lapisan sempadan, pemisahan lapisan sempadan dan parameter-parameter tanpa matra yang digunakan dalam kajian. Sementara itu, permasalahan dan sumbangan kajian, objektif dan skop kajian serta rangka kajian, masing-masing dinyatakan dalam seksyen 1.9-1.11.

## **1.2 PROSES PEMINDAHAN HABA OLAKAN**

Olakan adalah satu daripada tiga mekanisme pemindahan haba selain konduksi dan sinaran. Apabila wujud perbezaan suhu di antara dua kawasan, maka pemindahan haba berlaku dari kawasan yang bersuhu tinggi ke kawasan yang bersuhu rendah dan ia mengubah tenaga dalaman bagi sistem yang terlibat berpandukan Hukum Termodinamik Pertama (Wikipedia 2013). Pemindahan haba olakan merupakan proses yang melibatkan tenaga haba dipindahkan dari suatu permukaan jasad ke bendalir yang bergerak disebabkan oleh perbezaan suhu yang wujud antara permukaan dan bendalir tersebut. Olakan adalah lebih dominan dalam cecair dan gas. Semasa pemanasan, molekul-molekul dalam bendalir (cecair atau gas) akan bergerak dari kawasan yang kurang tumpat (panas) ke kawasan yang tumpat (sejuk) sehingga keseimbangan terma dicapai. Semakin cepat pergerakan bendalir, maka semakin besar pemindahan haba olakan berlaku. Pemindahan haba olakan berlaku secara meluas secara praktik. Sebagai contoh dalam proses penyejukan peralatan memotong semasa operasi pemesinan, pemanasan dan penyejukan bangunan, penjanaan dan pemeluwapan wap dalam loji janakuasa haba dan penyejukan komponen elektronik dalam komputer (Oosthuizen & Naylor 1999).

Pemindahan haba olakan berlaku dalam dua bentuk berbeza iaitu olakan bebas dan olakan paksa (Arapaci et al. 2000). Dalam olakan bebas, pergerakan bendalir didorong oleh perbezaan ketumpatan akibat daripada perubahan suhu yang disebabkan oleh pemanasan atau penyejukan. Dengan kata lain, aliran bendalir didorong oleh daya keapungan yang mana bendalir berolak kerana terdapat kecerunan tekanan yang dikenakan pada keseluruhan bendalir yang berpunca terutamanya oleh daya graviti. Radiator panas yang digunakan untuk memanaskan bilik adalah satu daripada contoh peranti praktikal yang memindahkan haba secara olakan bebas. Sementara itu, dalam olakan paksa, bendalir dipaksa untuk mengalir ke atas permukaan oleh agen-agen luar seperti kipas, pam dan angin persekitaran, dengan tujuan untuk meningkatkan kadar perubahan haba. Alat pendingin hawa untuk menyejukan bilik, ketuhar olakan yang mempercepatkan masakan makanan dan pemanasan/penyejukan anggota badan oleh peredaran darah dalam badan merupakan contoh-contoh yang melibatkan olakan paksa.

Gabungan kedua-dua olakan bebas dan paksa akan menghasilkan olakan campuran yang kesannya jelas apabila halaju aliran paksa adalah rendah sementara perbezaan ketumpatan/suhu adalah tinggi (Oosthuizen & Naylor 1999). Olakan ini boleh berlaku dalam beberapa situasi seperti dalam penyejukan alat elektronik dan dalam alat penukar haba. Aliran ditentukan secara serentak oleh kedua-dua sistem paksaan luar dan daya jisim dalaman oleh taburan ketumpatan yang tidak seragam bagi medium bendalir dalam medan graviti. Parameter daya keapungan ( $\lambda = Gr / Re^n$ ) menjadi ukuran perbandingan kepada pengaruh olakan bebas dengan olakan paksa dalam aliran, dengan  $Gr$ ,  $Re$  dan  $n(>0)$  masing-masing adalah nombor Grashof, nombor Reynolds dan pemalar. Olakan paksa menjadi dominan apabila  $\lambda \rightarrow 0$ , manakala olakan bebas adalah dominan apabila  $\lambda \rightarrow \infty$  (Pop & Ingham 2001).

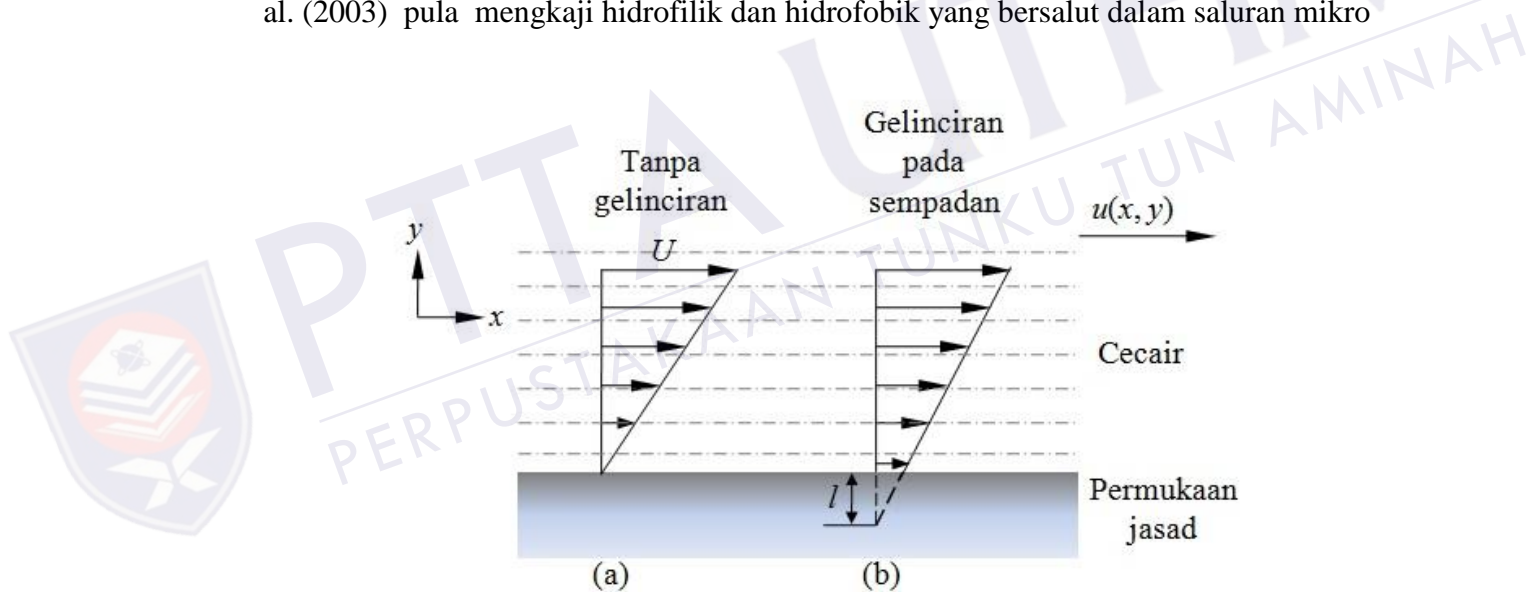
### 1.3 GELINCIRAN PADA PERMUKAAN DAN APLIKASI

Syarat sempadan pada permukaan bergantung pada sama ada bendalir adalah dalam bentuk cecair atau gas. Bagi aliran makro, dimensi sistem adalah besar, maka zarah-zarah bagi kedua-dua cecair dan gas yang bersentuhan dengan suatu permukaan jasad mestilah dalam keadaan yang seimbang dengan zarah-zarah jasad tersebut (White 2006). Secara amnya, syarat sempadan tak gelincir dikenakan pada permukaan pepejal dengan bendalir. Kebanyakan persamaan lapisan sempadan diterbitkan dengan mengambil kira andaian bahawa medan aliran mematuhi syarat tak gelincir pada permukaan, iaitu halaju bendalir  $u(x, y)$  pada permukaan jasad diandaikan sama dengan halaju jasad seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.1 (a). Walau bagaimanapun, pada keadaan tertentu, andaian syarat tak gelincir ini tidak boleh digunakan dan perlu digantikan dengan syarat sempadan separa gelinciran. Menurut Gad-el-Hak (1999), hal ini terjadi kerana apabila aliran melencong jauh daripada had keselantaran, syarat sempadan tak gelincir gagal untuk memodelkan secara tepat interaksi permukaan antara bendalir dan sempadan permukaan jasad disebabkan oleh frekuensi perlanggaran antara molekul-molekul bendalir dan permukaan jasad tersebut adalah rendah. Oleh itu, model gelinciran telah dicadangkan untuk memperbaiki jangkaan fenomena aliran tak-selanjat berdekatan sempadan permukaan, yang diandaikan masih dalam rangka aliran selanjat. Gelinciran permukaan boleh berlaku pada permukaan bendalir-pepejal, dan antara permukaan lapisan bendalir-bendalir. Sesetengah gabungan cecair/pepejal dikenal pasti akan mengalami gelinciran di bawah keadaan aliran mikro yang berskala kecil. Perkara ini dikatakan agak kontroversi dan telah dikaji semula oleh Gad-el-Hak (2001). Hasilnya, sesetengah cecair berskala kecil dalam aliran mikro didapati menunjukkan gelinciran manakala sesetengahnya tidak mempamerkan gelinciran.

Satu daripada cara untuk mencirikan gelinciran dalam cecair adalah panjang gelinciran  $l$  yang menghubungkan gelinciran halaju dengan kecerunan halaju setempat (atau kadar ricih) pada sempadan seperti berikut (Andersson 2002; White 2006):

$$u(x, y) = l \frac{\partial u}{\partial y}, \quad (1.1)$$

dengan  $u$  adalah komponen halaju,  $y$  mewakili koordinat yang seranjang dengan permukaan dan  $\partial u / \partial y$  adalah kadar ricih pada sempadan seperti ditunjukkan dalam Rajah 1.1 (b). Syarat aliran dengan gelinciran ini diperkenalkan buat pertama kali oleh Navier hampir dua abad yang lalu (Labropulu & Li 2008). Panjang gelinciran bergantung pada cecair, bentuk geometri aliran dan kadar ricih (White 2006). Menurut Sajid et al. (2012), panjang gelinciran adalah malar apabila syarat sempadan gelinciran Navier digunakan. Tretheway dan Meinhart (2002) menguji air yang mengalir dalam saluran mikro dengan kelebaran  $30 \mu\text{m}$ , yang disaluti dengan octadecyltrichlorosilane hidrofobik (OTS). Mereka mengukur  $l \approx 1 \mu\text{m}$  dan mendapati gelinciran halaju bersamaan dengan 10 peratus daripada halaju garis tengah. Choi et al. (2003) pula mengkaji hidrofilik dan hidrofobik yang bersalut dalam saluran mikro



Rajah 1.1 Halaju bendalir pada permukaan jasad (a) tanpa gelinciran dan (b) dengan gelinciran pada sempadan

dengan lebar  $1-2 \mu\text{m}$ , dan melaporkan  $l \approx 5-35 \text{ nm}$ , meningkat dengan kadar ricih. Menurut White (2006), belum ada lagi teori asas yang boleh meramalkan gelinciran bagi aliran cecair melalui permukaan pepejal.

Dengan perkembangan pesat sains dan teknologi dalam bidang yang berkaitan dengan teknologi mikro dan nano, didapati terdapat banyak perbezaan yang ketara di antara aliran bendalir pada skala makro dengan aliran bendalir pada skala mikro/nano, maka berlaku fenomena gelinciran permukaan. Kesan keadaan gelincir sangat penting bagi sesetengah bendalir yang mempamerkan gelinciran pada permukaan. Bendalir-bendalir tersebut penting dalam aplikasi teknologi seperti mengilap injap jantung tiruan dan rongga-rongga dalaman (Zhu et al. 2010). Terbaru, kesan gelinciran menerima banyak perhatian dalam sistem mikro-elektromekanikal (MEMS) dalam dinamik bendalir berskala mikro (Bhattacharyya et al. 2013). Disebabkan oleh dimensi berskala mikro, telatah aliran bendalir yang mempunyai kawasan gelinciran berbeza daripada telatah aliran yang biasa (Fang et al. 2009a). Pergerakan aliran dalam kawasan gelinciran masih memenuhi persamaan Navier-Stokes, tetapi dengan syarat sempadan yang melibatkan gelinciran halaju atau gelinciran terma. Aliran gas kurang tumpat dengan gelinciran sering berlaku dalam peranti berskala mikro dan situasi bertekanan rendah (Shidlovskiy 1967; Gal-el-Hak 1999). Aliran lapisan sempadan pada sempadan rata yang meregang disebabkan oleh separa gelinciran didapati berguna dalam masalah yang melibatkan regangan dan penyemperitan (Wang 2002). Masalah aliran titik genangan dengan gelinciran pula boleh digunakan dalam beberapa aplikasi yang melibatkan jalur atau filamen nipis bagi suatu minyak ringan yang melekat pada suatu plat atau apabila plat tersebut disaluti dengan penyalut khas seperti lapisan mono tebal octadecyltrichlorosilane hidrofobik (Derek et al. 2002). Begitu juga, gelinciran permukaan boleh berlaku jika bendalir yang terlibat mengandungi penggantungan yang pekat (Soltani & Yilmazer 1998). Selain itu, peleburan polimer sering mempamerkan gelinciran permukaan makroskopik, yang kebiasaannya dikawal oleh hubungan tak linear antara gelinciran halaju dan daya cengkaman (Abbas et al. 2009). Bagi sesetengah permukaan bersalut seperti Teflon yang menolak perlekatan, syarat tak gelincir digantikan dengan syarat separa gelincir Navier yang gelinciran halaju berkadaran dengan tegasan ricih setempat (Mukhopadhyay 2012). Walau bagaimanapun, eksperimen mencadangkan bahawa gelinciran halaju turut bergantung pada tegasan normal. Kesan medan magnet dengan gelinciran diperhatikan dalam kajian aliran tak mantap bagi darah melalui medium berliang dalam arteri dengan mempertimbangkan darah sebagai bendalir tak mampat berkonduksi elektrik (Eldesoky 2012). Kajian ini berguna dalam menilai peranan



## RUJUKAN

- Abbas, Z., Wang, Y., Hayat, T. & Oberlack, M. 2009. Slip effects and heat transfer analysis in a viscous fluid over an oscillatory stretching surface. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 59: 443-458.
- Abbasbandy, S. & Roohani Ghehsareh, H. 2013. Solutions for MHD viscous flow due to a shrinking sheet by Hankel-Padé method. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow* 23: 388-400.
- Abbott, D.E. & Kline, S.J. 1960. *Simple Methods for Construction of Similarity Solutions of Partial Differential Equations*. Department of Mechanical Engineering, Stanford University: AFOSR TN 60-1163 Report MD-6.
- Abel, M.S., Datti, P.S. & Mahesha, N. 2009. Flow and heat transfer in a power-law fluid over a stretching sheet with variable thermal conductivity and non-uniform heat source. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52: 2902-2913.
- Abo-Eldahab, E.M. 2005. Hydromagnetic three-dimensional flow over a stretching surface with heat and mass transfer. *Heat Mass Transfer* 41: 734-743.
- Abramowitz, M. & Stegun, I.A. 1965. *Handbook of Mathematical Functions*. Dover: New York.
- Acheson, D.J. 1990. *Elementary Fluid Dynamics*. New York: Oxford University Press Inc.
- Akyildiz, F.T. & Siginer, D.A. 2010. Existence results and numerical simulation of magnetohydrodynamic viscous flow over a shrinking sheet with suction. *Mathematical and Computer Modelling* 52: 346-354.
- Ali, M.E. 1995. On thermal boundary layer on a power-law stretched surface with suction or injection. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 16: 280-290.
- Ali, M.E. 2004. The buoyancy effects on the boundary layers induced by continuous surface stretched with rapidly decreasing velocities. *Heat Mass Transfer* 40: 285-291.

- Ali, M. & Al-Yousef, F. 1998. Laminar mixed convection from a continuously moving vertical surface with suction or injection. *Heat Mass Transfer* 33: 301-306.
- Ali, M. & Al-Yousef, F. 1998. Laminar mixed convection from a continuously moving vertical surface with suction or injection. *Heat Mass Transfer* 33: 301-306.
- Ames, W.F. 1965. *Nonlinear Partial Differential Equations in Engineering*. New York: Academic Press Inc.
- Andersson, H.I. 1995. An exact solution of the Navier-Stokes equations for magnetohydrodynamic flow. *Acta Mechanica* 113: 241-244.
- Andersson, H.I. 2002. Slip flow past a stretching surface. *Acta Mechanica* 158: 121-125.
- Andersson, H.I. & Rousselet, M. 2006. Slip flow over a lubricated rotating disk. *International Journal of Heat and Fluid Flow* 27: 329-335.
- Anjali Devi, S.P. & Thiyagarajan, M. 2006. Steady nonlinear hydromagnetic flow and heat transfer over a stretching surface of variable temperature. *Heat Mass Transfer* 42: 671-677.
- Anon. *Hydraulic Filtration Technical Reference*. Donaldson. Filtration Solutions. 330-352  
<http://www.donaldson.com/en/ih/support/000721.pdf> [5 September 2012].
- Anuar Mohd Ishak. 2008. Penyelesaian keserupaan bagi aliran lapisan sempadan olakan terhadap permukaan dalam bendalir likat. Tesis Dr. Fal. Pusat Pengajian Sains Matematik, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Anuar Ishak. 2010a. Boundary layer flow adjacent to a vertical plate with constant surface temperature. *Sains Malaysiana* 39: 1035-1039.
- Anuar Ishak. 2010b. Similarity solutions for flow and heat transfer over a permeable surface with convective boundary condition. *Applied Mathematics and Computation* 217: 837-842.

- Anuar Ishak, Roslinda Nazar, Norihan Md. Arifin & Pop, I. 2007a. Mixed convection of the stagnation-point flow towards a stretching vertical permeable sheet. *Malaysian Journal of Mathematical Sciences* 1: 217-226.
- Anuar Ishak, Roslinda Nazar & Pop, I. 2007b. Mixed convection on the stagnation point flow toward a vertical, continuously stretching sheet. *ASME Journal of Heat Transfer* 129: 1087-1090.
- Anuar Ishak, Roslinda Nazar, Norihan Md. Arifin & Pop, I. 2008a. Dual solutions in mixed convection flow near a stagnation-point on a vertical porous plate. *International Journal of Thermal Sciences* 47: 417-422.
- Anuar Ishak, Roslinda Nazar & Pop, I. 2008b. Heat transfer over unsteady stretching surface with prescribed heat flux. *Canadian Journal of Physics* 86: 853-855.
- Anuar Ishak, Roslinda Nazar, & Pop, I. 2008c. Hydromagnetic flow and heat transfer adjacent to a stretching vertical sheet. *Heat Mass Transfer* 44: 921-927.
- Anuar Ishak, Roslinda Nazar & Pop, I. 2008d. Stagnation flow of a micropolar fluid towards a vertical permeable surface. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 35: 276-281.
- Anuar Ishak, Khamisah Jafar, Roslinda Nazar & Pop, I. 2009a. MHD stagnation point flow towards a stretching sheet. *Physica A* 388: 3377-3383.
- Anuar Ishak, Roslinda Nazar & Pop, I. 2009b. Heat transfer over an unsteady stretching permeable surface with prescribed wall temperature. *Nonlinear Analysis: Real World Applications* 10: 2909-2913.
- Anuar Ishak, Roslinda Nazar & Pop, I. 2009c. MHD convective flow adjacent to a vertical surface with prescribed wall heat flux. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 36: 554-557.
- Anuar Ishak, Roslinda Nazar & Pop, I. 2009d. MHD flow towards a permeable surface with prescribed wall heat flux. *Chinese Physics Letters* 26: 014702.
- Anuar Ishak, Lok, Y.Y. & Pop, I. 2010a. Stagnation-point flow over a shrinking sheet in a micropolar fluid. *Chemical Engineering Communications* 197: 1417-1427.

- Anuar Ishak, Roslinda Nazar & Pop, I. 2010b. MHD mixed convection boundary layer flow towards a stretching vertical surface with constant wall temperature. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53: 5330-5334.
- Ariel, P.D. 2008. Two dimensional stagnation-point flow of an elastic-viscous fluid with partial slip. *Applied Mathematics and Mechanics (ZAMM)* 88: 320-324.
- Ariel, P.D. 2010. Homotopy perturbation method and the stagnation point flow. *Applications and Applied Mathematics* 1: 154-166.
- Ariel, P.D., Hayat, T. & Asghar, S. 2006. The flow of an elastico-viscous fluid past a stretching sheet with partial slip. *Acta Mechanica* 187: 29-35.
- Arpaci, V.S., Selamat, A. & Kao, S.H. 2000. *Introduction to Heat Transfer*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Aziz, A. 2009. A similarity solution for laminar thermal boundary layer over a flat plate with a convective surface boundary condition. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14: 1064-1068.
- Aziz, A. 2010. Hydrodynamic and thermal slip flow boundary layers over a flat plate with constant heat flux boundary condition. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15: 573-580.
- Battaller, R.C. 2008. Radiation effects for the Blasius and Sakiadis flows with a convective surface boundary condition. *Applied Mathematics and Computation* 206: 834-840.
- Beavers, G.S. & Joseph, D.D. 1967. Boundary conditions at a naturally permeable wall. *Journal of Fluid Mechanics* 30: 197-207.
- Bejan, A. 2004. *Convection Heat Transfer*. Edisi ke-3. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Bhattacharyya, K. 2012. Slip effects on boundary layer flow and mass transfer with chemical reaction over a permeable flat plate in a porous medium. *Frontiers in Heat and Mass Transfer* 3: 043006.
- Bhattacharyya, K. 2013. Heat transfer in boundary layer stagnation-point flow towards a shrinking sheet with non-uniform heat flux. *Chinese Physics B* 22: 074705.

- Bhattacharyya, K. & Layek, G.C. 2011. Effects of suction/blowing on steady boundary layer stagnation-point flow and heat transfer towards a shrinking sheet with thermal radiation. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54: 302-307.
- Bhattacharyya, K., Mukhopadhyay, S. & Layek, G.C. 2011a. MHD boundary layer slip flow and heat transfer over a flat plate. *Chinese Physics Letters* 28: 024701.
- Bhattacharyya, K., Mukhopadhyay, S. & Layek, G.C. 2011b. Slip effects on boundary layer stagnation-point flow and heat transfer towards a shrinking sheet. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 54: 308-313.
- Bhattacharyya, K., Mukhopadhyay, S. & Layek, G.C. 2011c. Slip effects on unsteady boundary layer stagnation-point flow and heat transfer towards a stretching sheet. *Chinese Physics Letters* 28: 094702.
- Bhattacharyya, K., Mukhopadhyay, S. & Layek, G.C. 2012. Reactive solute transfer in magnetohydrodynamic boundary layer stagnation-point flow over a stretching sheet with suction/blowing. *Chemical Engineering Communications* 199: 368-383.
- Bhattacharyya, K., Mukhopadhyay, S. & Layek, G.C. 2013. Similarity solution of mixed convective boundary layer slip flow over a vertical plate. *Ain Shams Engineering Journal* 4: 299-305.
- Birkhoff, G. 1950. *Hydrodynamics*. New Jersey: Princeton University Press.
- Burmeister, L.C. 1983. *Convective Heat Transfer*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Cao, K & Baker, J. 2009. Slip effects on mixed convection flow and heat transfer from a vertical plate. *International Journal of Heat Mass Transfer* 52: 3829-3841.
- Cebeci, T. & Bradshaw, P. 1977. *Momentum Transfer in Boundary Layers*. New York: Hemisphere Publishing Corporation.
- Cebeci, T. & Bradshaw, P. 1988. *Physical and Computational Aspects of Convective Heat Transfer*. New York: Springer-Verlag.

- Cebeci, T. & Smith, A.M.O. 1974. *Analysis of Turbulent Boundary Layers*. New York: Academic Press.
- Çengel, Y.A. 2003. *Heat Transfer: A Practical Approach*. Edisi ke-2. Boston: McGraw-Hill.
- Chamkha, A.J. 1997. Similarity solution for thermal boundary layer on a stretched surface of a non-Newtonian fluid. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 24: 643-652.
- Chamkha, A.J. 1998a. Hydromagnetic mixed convection stagnation flow with suction and blowing. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 25: 417-426.
- Chamkha, A.J. 1998b. Unsteady hydromagnetic flow and heat transfer from a non-isothermal stretching sheet immersed in a porous medium. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 25: 899-906.
- Chamkha, A.J. 2004. Unsteady MHD convective heat and mass transfer past a semi-infinite vertical permeable moving plate with heat absorption. *International Journal of Engineering Science* 42: 217-230.
- Chamkha, A.J. & Issa, C. 1999. Mixed convection effects on unsteady flow and heat transfer over a stretched surface. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 26: 717-727.
- Char, M.I. 1994. Heat transfer in hydromagnetic flow over a stretching sheet. *Heat Mass Transfer* 29: 495-500.
- Chakrabarti, A. & Gupta, A.S. 1979. Hydromagnetic flow and heat transfer over a stretching sheet. *Quarterly of Applied Mathematics* 37: 73-78.
- Chaudhary, R.C. & Jha, A.K. 2008. Effects of chemical reactions on MHD micropolar fluid flow past a vertical plate in slip-flow regime. *Applied Mathematics and Mechanics (English Edition)* 29: 1179-1194.
- Chen, C.H. 1998. Laminar mixed convection adjacent to vertical, continuously stretching sheets. *Heat and Mass Transfer* 33: 471-476.
- Chen, T.S. 1988. Parabolic systems: Local nonsimilarity method. In. Minkowycz, W.J. ed. *Handbook of Numerical Heat Transfer*. Canada: John Wiley.



- Chen, C.H. 2000. Mixed convection cooling of a heated continuously stretching surface. *Heat and Mass Transfer* 36: 79-86.
- Chen, C.H. 2008. Effects of magnetic field and suction/injection on convection heat transfer of non-Newtonian power-law fluids past a power-law stretched sheet with surface heat flux. *International Journal of Thermal Sciences* 47: 954-961.
- Chiam, T.C. 1994. Stagnation-point flow towards a stretching plate. *Journal of the Physical Society of Japan* 63: 2443-2444.
- Chiam, T.C. 1995. Hydromagnetic flow over a surface stretching with a power-law velocity. *International Journal of Engineering Science* 33: 429-435.
- Chiam, T.C. 1996. Heat transfer with variable conductivity in a stagnation-point flow towards a stretching sheet. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 23: 239-248.
- Chiam, T.C. 1997. Magnetohydrodynamic heat transfer over non-isothermal stretching sheet. *Acta Mechanica* 122: 169-179.
- Chiam, T.C. 1998. Heat transfer in a fluid with variable thermal conductivity over a linearly stretching sheet. *Acta Mechanica* 129: 63-72.
- Choi, C.H., Westin, K.J.A. & Breuer, K.S. 2003. Apparent slip flows in hydrophilic and hydrophobic microchannel. *Physics of Fluids* 15: 2897-2902.
- Clancy, L.J. 1993. *Aerodynamics*. Massachusetts: Pitman Publishing Inc.
- Cortell, R. 2005. A note on magnetohydrodynamic flow of a power-law fluid over a stretching sheet. *Applied Mathematics and Computation* 168: 557-566.
- Cossali, G.E. 2006. Similarity solutions of energy and momentum boundary layer equations for a power-law shear driven flow over a semi-infinite flat plate. *European Journal of Mechanics – B/Fluids* 25: 18-32.
- Crane, L.J. 1970. Flow past a stretching plate. *Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP)* 21: 645-647.
- Davidson, P.A. 2001. *An Introduction to Magnetohydrodynamics*. New York: Cambridge University Press.

- Derek, C., Tretheway, D.C. & Meinhart, C.D. 2002. Apparent fluid slip at hydrophobic microchannel walls. *Physics of Fluids* 14: L9.
- Devi, C.D.S., Takhar, H.S. & Nath, G. 1991. Unsteady mixed convection flow in stagnation region adjacent to a vertical surface. *Heat and Mass Transfer* 26: 71-79.
- Dorch, S.B.F. 2007. *Magnetohydrodynamics*. Scholarpedia. 2(4): 2295 <http://www.scholarpedia.org/article/Magnetohydrodynamics> [5 September 2012].
- Douglas, B.M., Bala, S.H. & Ralph, E.W. 1996. The shooting technique for the solution of two-point boundary value problems. *Maple Tech* 3: 85-93.
- Dutta, B.K. & Roy, P. 1985. Temperature field in flow over a stretching sheet with uniform heat flux. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 12: 89-94.
- Eckert, E.R.G. & Drake, Jr. R.M. 1972. *Analysis of Heat and Mass Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- Elbashbeshy, E.M.A. 1998. Heat transfer over a stretching surface with variable surface heat flux. *Journal of Physics D: Applied Physics* 31: 1951-1954.
- Elbashbeshy, E.M.A. & Bazid, M.A.A. 2000. The effect of temperature-dependent viscosity on heat transfer over a continuous moving surface. *Journal of Physics D: Applied Physics* 33: 2716-2721.
- Eldesoky, I.M. 2012. Slip effects on the unsteady MHD pulsatile blood flow through porous medium in an artery under the effect of body acceleration. *International Journal of Mathematics and Mathematical Sciences* 2012: 860239.
- Fang, T. 2008. Boundary layer flow over a shrinking sheet with power-law velocity. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 51: 5838-5843.
- Fang, T., Liang, W. & Lee, F.C. 2008. A new solution branch for the Blasius equation – A shrinking sheet problem. *Computers and Mathematics with Applications* 56: 3088-3095.



- Fang T. & Zhang, J. 2009. Closed-form exact solutions of MHD viscous flow over a shrinking sheet. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14: 2853-2857.
- Fang, T., Zhang, J. & Yao, S. 2009a. Slip MHD viscous flow over a stretching sheet – an exact solution. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14: 3731-3737.
- Fang, T., Zhang, J. & Yao, S.-S. 2009b. Viscous flow over an unsteady shrinking sheet with mass transfer. *Chinese Physics Letters* 26: 014703-1–014703-4.
- Fang, T. & Zhang, J. 2010. Thermal boundary layers over a shrinking sheet: an analytical solution. *Acta Mechanica* 209: 325-343.
- Fang, T. & Zhong, Y. 2010. Viscous flow over a shrinking sheet with an arbitrary surface velocity. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15: 3768-3776.
- Fang, T., Yao, S., Zhang, J. & Aziz, A. 2010. Viscous flow over a shrinking sheet with a second order slip flow model. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15: 1831-1842.
- Faraz, N., Khan Y. & Yildirim, A. 2011. Analytical approach to two-dimensional viscous flow with a shrinking sheet via variational iteration algorithm-II. *Journal of King Saud University - Science* 23: 77–81.
- Ferdows, M., Nag, P., Postelnicu, A. & Vajravelu, K. 2013. Hydro-Magnetic convection heat transfer in a micropolar fluid over a vertical plate. *Journal of Applied Fluid Mechanics* 6: 285-299.
- Gal-el-Hak, M. 1999. The fluid mechanics of micro-devices – the Freeman scholar lecture. *ASME Journal of Fluids Engineering* 121: 5-33.
- Gal-el-Hak, M. 2001. *The MEMS Handbook (Mechanical Engineering)*. Boca Raton, Fla: CRC Press.
- Goldstein, S. 1938. *Modern Developments in Fluid Dynamics*. Jilid 1-2. London: Oxford Univ. Press.
- Gorla, R.S.R. 1983. Micropolar boundary layer flow at a stagnation point on a moving wall. *International Journal of Engineering Science* 21: 25-33.

- Grubka, L.J. & Bobba, K.M. 1985. Heat transfer characteristics of a continuous, stretching surface with variable temperature. *ASME Journal of Heat Transfer* 107: 248-250.
- Gupta, P.S. & Gupta, A.S. 1977. Heat and mass transfer on a stretching sheet with suction or blowing. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 55: 744-746.
- Guram, G.S. & Smith, A.C. 1980. Stagnation flows of micropolar fluids with strong and weak interactions. *Computers & Mathematics with Applications* 6: 213-233.
- Haliza Rosali, Anuar Ishak & Pop, I. 2012. Micropolar fluid flow towards a stretching/shrinking sheet in a porous medium with suction. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 39: 826-829.
- Haliza Rosali & Anuar Ishak. 2013. Stagnation-point flow towards a vertical plate embedded in a porous medium. *AIP Conference Proceedings*, 1522 hlm. 205-210.
- Hansen, A.G. 1964. *Similarity Analyses of Boundary Value Problems in Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Harris, S.D., Ingham, D.B. & Pop, I. 2009. Mixed convection boundary-layer flow near the stagnation point on a vertical surface in a porous medium: Brinkman model with slip. *Transport in Porous Media* 77: 267-285.
- Hassanien, I.A. & Gorla, R.S.R. 1990. Combined forced and free convection in stagnation flows of micropolar fluids over vertical non-isothermal surfaces. *International Journal of Engineering Science* 28: 783-792.
- Hauke, G. 2008. *An Introduction to Fluid Mechanics and Transport Phenomena*. Berlin: Springer.
- Hayat, T., Javed, T. & Sajid, M. 2008. Analytic solution for MHD rotating flow of a second grade fluid over a shrinking surface. *Physics Letters A* 372: 3264-3273.
- Hayat, T., Qasim, M. & Mesloub, S. 2011. MHD flow and heat transfer over permeable stretching sheet with slip conditions. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 66: 963-975.

Holman, J.P. 2010. *Heat Transfer*. Edisi ke-10. Boston: McGraw-Hill.

Hossain, M.A. & Gorla, R.S.R. 2009. Natural convection flow of non-Newtonian power-law fluid from a slotted vertical isothermal surface. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow* 19(7): 835–846.

Incropera, F.P. & DeWitt, D.P. 2002. *Introduction to Heat Transfer*. Edisi ke-4. New York: John Wiley & Sons.

Jackson, J. D. 1999. *Classical Electrodynamics*. New York: Wiley.

Jat, R.N. & Chaudhary, S. 2010. Radiation effects on the MHD flow near the stagnation point of a stretching sheet. *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik (ZAMP)* 61: 1151–1154.

Kakaç, S. & Yener, Y. 1995. *Convective Heat Transfer*. Edisi ke-2. London: CRC Press Inc.

Kartini Ahmad, Anuar Ishak & Roslinda Nazar. 2013. Micropolar fluid flow and heat transfer over a nonlinearly stretching plate with viscous dissipation. *Mathematical Problems in Engineering* 2013: Article ID 257161.

Kays, W.M., Crawford, M.E. & Weigand, B. 2005. *Convective Heat and Mass Transfer*. Edisi ke-4. New Jersey: McGraw-Hill.

Keller, H.B. 1970. A new difference scheme for parabolic problems. Dalam: *Numerical solutions of partial differential equations, Vol 2 (J. Bramble et al. eds.)*. New York: Academic Press.

Keller, H.B. & Cebeci, T. 1971. Accurate numerical methods for boundary layer flows, I: Two-dimensional laminar flows. *Proceedings of the 2nd International Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics*. New York: Springer-Verlag.

Keller, H.B. & Cebeci, T. 1972. Accurate numerical methods for boundary layer flows, II: Two-dimensional turbulent flows. *AIAA Journal* 10: 1193–1199.

Khaled, A.R.A. & Vafai, K. 2004. The effect of the slip condition on Stokes and Couette flows due to an oscillating wall: exact solutions. *International Journal of Non-Linear Mechanics* 39: 795–809.

- Kumaran, V., Tamizharasi, R. & Vajravelu, K. 2009. Approximate analytic solutions of stagnation point flow in a porous medium. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14: 2677-2688.
- Kumari, M. & Nath, G. 1984. Unsteady incompressible boundary layer flow of a micropolar fluid at a stagnation point. *International Journal of Engineering Science* 22: 755-768.
- Kumari, M., Pop, I. & Nath, G. 1990. Nonsimilar boundary layers for non-Darcy mixed convection flow about a horizontal surface in a saturated porous medium. *International Journal of Engineering Science* 28: 253–263.
- Kumari, M. & Nath, G. 2002. Unsteady flow and heat transfer of a viscous fluid in the stagnation region of a three-dimensional body with a magnetic field. *International Journal of Engineering Science* 40: 411–432.
- Labropulu, F. & Li, D. 2008. Stagnation-point flow of a second-grade fluid with slip. *International Journal of Non-linear Mechanics* 43: 941-947.
- Laplace, P. & Arquis, I. 1998. Boundary layer over a slotted plate. *European Journal of Mechanics – B/Fluids* 17: 331-355.
- Layek, G.C., Mukhopadhyay, S. & Samad, Sk. A. 2007. Heat and mass transfer analysis for boundary layer stagnation point flow towards a heated porous stretching sheet with heat absorption/ generation and suction/blowing. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 34: 347-356.
- Lin, H.T. & Chen, C.C. 1988. Mixed convection on vertical plate for fluids of any Prandtl number. *Heat and Mass Transfer* 22: 159-168.
- Lin, C.R. & Chen, C.K. 1998. Exact solution of heat transfer from a stretching surface with variable heat flux. *Heat and Mass Transfer* 33: 477-480.
- Lin, H.T. & Hoh, H.L. 1997. Mixed convection from an isothermal vertical flat plate moving in parallel or reversely to a free stream. *Heat and Mass Transfer* 32: 441-445.
- Lin, H.T., Yu, W.S. & Chen, C.C. 1990. Comprehensive correlations for laminar mixed convection on vertical and horizontal flat plates. *Heat and Mass Transfer* 25: 353-359.

- Liu, I.C. 2004. Flow and heat transfer of an electrically conducting fluid of second grade over a stretching sheet subject to a transverse magnetic field. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47: 4427-4437.
- Liu, I.C. 2005. A note on heat and mass transfer for a hydromagnetic flow over a stretching sheet. *International Communication in Heat and Mass Transfer* 32: 1075-1084.
- Lok, Y.Y., Norsarahaida Amin, Campean, D. & Pop, I. 2005. Steady mixed convection flow of a micropolar fluid near the stagnation point on a vertical surface. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow* 15: 654-670.
- Lok, Y.Y., Norsarahaida Amin & Pop, I. 2006. Unsteady mixed convection flow of a micropolar fluid near the stagnation-point on a vertical surface. *International Journal of Thermal Science* 45: 1149-1157.
- Lok, Y.Y., Anuar Ishak & Pop, I. 2011. MHD stagnation-point flow towards a shrinking sheet. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow* 2: 61-72.
- Long, C.A. 1999. *Essential Heat Transfer*. Harlow, Essex: Longman.
- Long, C. & Sayma, N. 2009. *Heat Transfer*. Ventus Publishing ApS.
- Lorrain, P., Lorrain, F. & Houle, S. 2006. *Magneto-fluid dynamics*. New York: Springer.
- Magyari, E. 2008. Cases of mutual compensation of the magnetic and buoyancy forces in mixed convection past a moving vertical surface. *Heat and Mass Transfer* 45: 127-129.
- Magyari, E. 2011. Comment on "A similarity solution for laminar thermal boundary layer over a flat plate with a convective surface boundary condition" by A. Aziz, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 2009; 14: 1064-1068. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 16: 599-601.
- Magyari, E., Ali, M.E. & Keller, B. 2001. Heat and mass transfer characteristics of the self-similar boundary layer flows induced by continuous surfaces stretched with rapidly decreasing velocities. *Heat and Mass Transfer* 38: 65-74.

- Magyari, E., Keller, B. & Pop, I. 2003. Boundary –layer similarity flows driven by a power law shear over a permeable plane surface. *Acta Mechanica* 163: 139-146.
- Magyari, E., Keller, B. & Pop, I. 2004. Heat transfer characteristics of a boundary-layer flow driven by a power-law shear over a semi-infinite flat plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47: 31-34.
- Magyari, E. & Weidman, P.D. 2006. Heat transfer on a plate beneath an external uniform shear flow. *International Journal of Thermal Sciences* 45: 110-115.
- Mahapatra, T.R. & Gupta, A.S. 2001. Magnetohydrodynamics stagnation-point flow towards a stretching sheet. *Acta Mechanica* 152: 191-196.
- Mahapatra, T.R. & Gupta, A.S. 2003. Stagnation-point flow towards a stretching surface. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 81: 258-263.
- Mahapatra, T.R. & Nandy, S.K. 2011. Unsteady stagnation-point flow and heat transfer over an unsteady shrinking sheet. *International Journal of Applied Mathematics and Mechanics* 7: 11-26.
- Mahapatra, T.R. & Nandy, S.K. 2013. Stability of dual solutions in stagnation-point flow and heat transfer over a porous shrinking sheet with thermal radiation. *Meccanica* 48: 23-32.
- Makinde, O.D. & Aziz, A. 2010. MHD mixed convection from a vertical plate embedded in a porous medium with a convective boundary condition. *International Journal of Thermal Sciences* 49: 1813-1820.
- Martin, M.J. & Boyd, I.D. 2006. Momentum and heat transfer in laminar boundary layer with slip flow. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer* 20: 710-719.
- McCarty, K.F., Meeks, E., Kee, R.J. & Lutz, A.E. 1993. Scaleable stagnation-flow reactors for uniform materials deposition: Application to combustion synthesis of diamond. *Applied Physics Letters* 63: 1498.
- Merkin, J.H. 1980. Mixed convection boundary layer flow on a vertical surface in a saturated porous medium. *Journal of Engineering Mathematics* 14: 301-313.



- Merkin, J.H. 1985. On dual solutions occurring in mixed convection in a porous medium. *Journal of Engineering Mathematics* 20: 171-179.
- Merkin, J.H. & Pop, I. 2002. Mixed convection along a vertical surface. *Fluid Dynamics Research* 30: 233-250.
- Merkin, J.H., Bachok, N., Jaradat, M.A. & Pop, I. 2013a. A similarity solution for the flow and heat transfer over a moving permeable flat plate in an external free stream: Case of strong injection. *Meccanica* 48: 297-306.
- Merkin, J.H., Lok, Y.Y. & Pop, I. 2013b. Mixed Convection Boundary-Layer Flow on a Vertical Surface in a Porous Medium with a Constant Convective Boundary Condition. *Transport in Porous Media* 99: 413-425.
- Merrill, K., Beauchesne, M., Previte, J. & Weidman, P. 2006. Final steady flow near a stagnation point on a vertical surface in a porous medium. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 49: 4681-4686.
- Miklavčič, M. & Wang, C.Y. 2006. Viscous flow due to a shrinking sheet. *Quarterly of Applied Mathematics* 64: 283-290.
- Miksis, M.J. & Davis, S.H. 1994. Slip over rough and coated surfaces. *Journal of Fluid Mechanics* 273: 125-139.
- Morgan, A.J.A. 1952. Reduction by one of the number of independent variables in some systems of partial differential equations. *Quarterly of Applied Mathematics* 2: 250.
- Mucoglu, A. & Chen, T.S. 1978. Mixed convection about a sphere with uniform surface heat flux. *ASME Journal of Heat Transfer* 100: 542-544.
- Mukhopadhyay, S. 2011. Effects of slip on unsteady mixed convective flow and heat transfer past a porous stretching surface. *Nuclear Engineering and Design* 241: 2660-2665.
- Mukhopadhyay, S. 2012. Slip effects on MHD boundary layer flow over an exponentially stretching sheet with suction/blowing and thermal radiation. *Ain Shams Engineering Journal* <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2012.10.007>.
- Mustafaa, M., Hayat, T. & Obaidat, S. 2013. Boundary layer flow of a nanofluid over an exponentially stretching sheet with convective boundary conditions.

*International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow* 23: 945-959.

Na, T.Y. 1979. *Computational Methods in Engineering Boundary Value Problem*. New York: Academic Press.

Na, T.Y. & Pop, I. 1997. Boundary-layer flow of a micropolar fluid due to a stretching wall. *Archive of Applied Mechanics* 67: 229–236.

Nadeem, S., Hussain, A. & Khan, M. 2010. HAM solutions for boundary layer flow in the region of stagnation point towards a stretching sheet. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15: 475-481.

Nandeppanavar, M.M., Vajravelu, K., Subhas Abel, M. & Siddalingappa, M.N. 2013. MHD flow and heat transfer over a stretching surface with variable thermal conductivity and partial slip. *Meccanica* 48: 1451-1464.

Nandy, S.K. & Mahapatra, T.R. 2013. Effects of slip and heat generation/absorption on MHD stagnation flow of nanofluid past a stretching/shrinking surface with convective boundary conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 64: 1091-1100.

Noor Fadiya Mohd Noor & Ishak Hashim. 2009. MHD flow and heat transfer adjacent to a permeable shrinking sheet embedded in a porous medium. *Sains Malaysiana* 38(4): 559-565.

Noor Fadiya Mohd Noor, Seripah Awang Kechil & Ishak Hashim. 2010. Simple non-perturbative solution for MHD viscous flow due to a shrinking sheet. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15: 144-148.

Nor Azizah M. Yacob. 2012. Aliran lapisan sempadan olakan terhadap pelbagai permukaan dalam bendalir mikrokutub dan nanobendalir. Tesis Dr. Fal. Pusat Pengajian Sains Matematik, Universiti Kebangsaan Malaysia.

Nor Azizah M. Yacob, Anuar Ishak, Pop, I. & Vajravelu, K. 2011. Boundary layer flow past a stretching/shrinking surface beneath an external uniform shear flow with a convective surface boundary condition in a nanofluid. *Nanoscale Research Letters* 6: X1-7.

Norfifah Bachok, Anuar Ishak & Pop, I. 2010. Unsteady three-dimensional boundary layer flow due to a permeable shrinking sheet. *Applied Mathematics and Mechanics – English Edition* 31: 1421-1428.



- Norfifah Bachok, Anuar Ishak & Pop, I. 2011. Flow and heat transfer over a rotating porous disk in a nanofluid. *Physica B* 406: 1767–1772.
- Oosthuizen, P.H. & Naylor, D. 1999. *An Introduction to Convective Heat Transfer Analysis*. New York: McGraw-Hill.
- Özişik, M.N. 1977. *Basic Heat Transfer*. Tokyo: McGraw-Hill Inc.
- Özişik, M.N. 1985. *Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Pal, D. 2009. Heat and mass transfer in stagnation-point flow towards a stretching surface in the presence of buoyancy force and thermal radiation. *Meccanica* 44: 145-158.
- Pantokratoras, A. 2009. A common error made in investigation of boundary layer flows. *Applied Mathematical Modeling* 3: 413-422.
- Partha, M.K., Murthy, P.V.S.N. & Rajasekhar, G.P. 2005. Effect of viscous dissipation on the mixed convection heat transfer from an exponentially stretching surface. *Heat and Mass Transfer* 41: 360-366.
- Patel, M. & Timol, M. 2011. Magnetohydrodynamic ortogonal stagnation point flow of a power-law fluid toward a stretching surface. *American Journal of Computational Mathematics* 1: 129-133.
- Patel, V.N. 2012. On the generalization of similarity analyses of partial differential equations. Disertasi Ph.D. Veer Narmad South Gujarat University India.
- Pavlov, K.V. 1974. Magnetohydrodynamic flow of an incompressible viscous fluid caused by the deformation of a plane surface. *Magnitnaya Gidrodinamika* 4: 146-147.
- Pop, I. & Ingham, D.B. 2001. *Convective Heat Transfer: Mathematical and Computational Modelling of Viscous Fluids and Porous Medium*. Oxford: Pergamon.
- Pop, I., Kumari, M. & Nath, G. 1995. Free convection past a uniform flux surface inclined at a small angle to the horizontal. *Fluid Dynamics Research* 15: 57–67.

- Pop, S.R., Grosan, T. & Pop, I. 2004. Radiation effects on the flow near the stagnation point of a stretching sheet. *Technische Mechanik* 25: 100-106.
- Prasad, K.V., Pal, D. & Datti, P.S. 2009. MHD power-law fluid and heat transfer over a non-isothermal stretching sheet. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14: 2178-2189.
- Prasad, K.V., & Vajravelu, K. 2009. Heat transfer in the MHD flow of a power law fluid over a non-isothermal stretching sheet. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52: 4956-4965.
- Raju, M.S., Liu, X.Q. & Law, C.K. 1984. A formulation of combined forced and free convection past horizontal and vertical surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 27: 2215-2224.
- Ramachandran, N., Chen, T.S. & Armaly, B.F. 1988. Mixed convection in stagnation flows adjacent to vertical surfaces. *ASME Journal of Heat Transfer* 110: 373-377.
- Rao, I.J. & Rajagopal, K.R. 1999. The effect of the slip boundary condition on the flow of fluids in a channel. *Acta Mechanica* 135: 113-126.
- Rohini, A.M., Ahmad, S., Pop, I. & Merkin, J.H. 2012. Unsteady mixed convection boundary-layer flow with suction and temperature slip effects near the stagnation point on a vertical permeable surface embedded in a porous medium. *Transport in Porous Media* 92: 1-14.
- Rees, D.A.S. & Bassom, A.P. 1996. The Blasius boundary-layer flow of a micropolar fluid. *International Journal of Engineering Science* 34: 113-124.
- Roşca, N.C. & Pop, I. 2013. Mixed convection stagnation point flow past a vertical flat plate with a second order slip: Heat flux case. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 65: 102-109.
- Rosenau, P. & Schwarzmeier, J.L. 1979. *Similarity Solutions of Systems of Partial Differential Equations Using MACSYMA*. New York: Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University.
- Roslinda Nazar, Norsarahaida Amin, Filip, D. & Pop, I. 2004a. Stagnation-point flow of a micropolar fluid towards a stretching sheet. *International Journal of Non-linear Mechanics* 39: 1227-1235.

- Roslinda Nazar, Norsarahaida Amin, Filip, D. & Pop, I. 2004b. Unsteady boundary layer flow in the region of the stagnation point on a stretching sheet. *International Journal of Engineering Science* 42: 1241–1253.
- Roslinda Nazar, Norsarahaida Amin & Pop, I. 2004c. Unsteady mixed convection boundary layer flow near the stagnation point on a vertical surface in a porous medium. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 47: 2681-2688.
- Rott, N. 1956. Unsteady viscous flow in the vicinity of a stagnation point. *Quarterly of Applied Mathematics* 13: 444–451.
- Sajid, M., Hayat, T. & Javed, T. 2008. MHD rotating flow of a viscous fluid over a shrinking surface. *Nonlinear Dynamics* 51: 259-265.
- Sajid, M. & Hayat, T. 2009. The application of homotopy analysis method for MHD viscous flow due to a shrinking sheet. *Chaos, Solitons and Fractals* 39: 1317-1323.
- Sajid, M., Mahmood, K. & Abbas, Z. 2012. Axisymmetric stagnation-point flow with a general slip boundary condition over a lubricated surface. *Chinese Physics Letters* 29: 024702.
- Schlichting, H. 1968. *Boundary-Layer Theory*. Edisi ke-6. New York: McGraw-Hill Inc.
- Schlichting, H. 1979. *Boundary-Layer Theory*. Edisi ke-7. New York: McGraw-Hill Inc.
- Schlichting, H. & Gersten, K. 2000. *Boundary-Layer Theory*. Edisi ke-8. Berlin: Springer.
- Schnack, D.D. 2009. *Lectures in Magnetohydrodynamics: With an Appendix on Extended MHD*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Schneider, W. 1979. A similarity solution for combined forced and free convection flow over a horizontal plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 22: 1401-1406.
- Schneider, W. & Wasel, M.G. 1985. Breakdown of the boundary-layer approximation for mixed convection above a horizontal plate. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 28: 2307-2313.

- Sears, W.R. & Telionis, D.P. 1975. Boundary-layer separation in unsteady flow. *SIAM Journal of Applied Mathematics* 28: 215-235.
- Seini, W.I. & Makinde, O.D. 2013. MHD boundary layer flow due to exponential stretching surface with radiation and chemical reaction. *Mathematical Problem in Engineering* 2013: 163614.
- Sharma, P.R. & Singh, G. 2008. Effects of variable thermal conductivity and heat source/ sink on MHD flow near a stagnation point on a linearly stretching sheet. *Journal of Applied Fluid Mechanics* 2: 13-21.
- Shercliff, J.A. 1965. *A Text Book of Magnetohydrodynamics*. Oxford: Pergamon Press.
- Sherman, F.S. 1990. *Viscous Flow*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Shidlovskiy, V.P. 1967. *Introduction to the Dynamics of Rarefied Gases*. New York: American Elsevier Publishing Company Inc.
- Simonson, J.R. 1991. *Pemindahan Haba Kejuruteraan*. Edisi ke-2. Terj. Mohammad Zainal Md. Yusof. Skudai: Unit Penerbitan Akademik, UTM.
- Sin Wei Wong, M.A. Omar Awang & Anuar Ishak. 2013. Stagnation-point flow toward a vertical, nonlinearly stretching sheet with prescribed surface heat flux. *Journal of Applied Mathematics* 2013: Article ID 528717.
- Soltani, F. & Yilmazer, U. 1998. Slip velocity and slip layer thickness in flow of concentrated suspensions. *Journal of Applied Polymer Science* 70: 515-522.
- Tamim, H., Dinarvand, S., Hosseini, R., Khalili, S. & Khalili, A. 2013. Mixed convection boundary-layer flow of a nanofluid near stagnation-point on a vertical plate with effects of buoyancy assisting and opposing flows. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 6: 1785-1793.
- Tannehill, J.C., Anderson, D.A. & Pletcher, R.H. 1997. *Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*. Edisi ke-2. Philadelphia: Hemisphere Publishing Corporation.
- Tretheway, D.C. & Meinhart, C.D. 2002. Apparent fluid slip at hydrophobic microchannel walls. *Physics of Fluids* 14: L9-L12.

- Tsai, R., Huang, K.H. & Huang, J.S. 2008. Flow and heat transfer over an unsteady stretching surface with non-uniform heat source. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 35: 1340-1343.
- Turkyilmazoglu, M. 2011. Multiple solutions of heat and mass transfer of MHD slip flow for the viscoelastic fluid over a stretching sheet. *International Journal of Thermal Sciences* 50: 2264–2276.
- Vajravelu, K. & Hadjinicolaou, A. 1997. Convective heat transfer in an electrically conducting fluid at a stretching surface with uniform free stream. *International Journal of Engineering Science* 35:1237–1244.
- Wang, C.Y. 2002. Flow due to a stretching boundary with partial slip – an exact solution of the Navier-Stokes equations. *Chemical Engineering Science* 57: 3745-3747.
- Wang, C.Y. 2003. Stagnation flows with slip: exact solutions of the Navier-Stokes equations. *Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP)* 54: 184-189.
- Wang, C.Y. 2006. Stagnation slip flow and heat transfer on a moving plate. *Chemical Engineering Science* 61: 7668-7672.
- Wang, C.Y. 2008. Stagnation flow towards a shrinking sheet. *International Journal of Non-linear Mechanics* 43: 377-382.
- Watanabe, T. 1991. Forced and free mixed convection boundary layer flow with uniform suction and injection on a vertical flat plat. *Acta Mechanica* 89: 123-132.
- Weidman, P.D., Kubitschek, D.G. & Brown, S.N. 1997. Boundary layer similarity flow driven by power-law shear. *Acta Mechanica* 120: 199-215.
- White, F.M. 2006. *Viscous Fluid Flow*. Edisi ke-3. Boston: McGraw-Hill.
- Wikipedia, the free encyclopedia. 2013. First law of thermodynamics. [http://en.wikipedia.org/wiki/First\\_law\\_of\\_thermodynamics](http://en.wikipedia.org/wiki/First_law_of_thermodynamics) [15 Julai 2013].
- Wilks, G. & Bramley, J.S. 1981. Dual solutions in mixed convection. *Proceedings Royal Society of Edinburgh* 87A: 349-358.

- Wong, S.W., Awang, M.A.O. & Ishak, A. 2013. Stagnation-point flow toward a vertical, nonlinearly stretching sheet with prescribed surface heat flux. *Journal of Applied Mathematics* 2013: art. no. 528717.
- Wu, L. 2008. A slip model for rarefied gas flows at arbitrary Knudsen number. *Applied Physics Letters* 93: 253103.
- Wu, Q., Weinbaum, S. & Andreopoulos, Y. 2005. Stagnation-point flows in a porous medium. *Chemical Engineering Science* 60: 123-134.
- Xu, H. & Liao, S.J. 2009. Laminar flow and heat transfer in the boundary-layer of non-Newtonian fluids over a stretching flat sheet. *Computers and Mathematics with Applications* 57: 1425–1431.
- Yao, B. & Chen, J. 2009. A new analytical solution branch for the Blasius equation with a shrinking sheet. *Applied Mathematics and Computation* 215: 1146-1153.
- Yao, S., Fang, T. & Zhong, Y. 2011. Heat transfer of a generalized stretching/shrinking wall problem with convective boundary conditions. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 16: 752-760.
- Zhu, J., Zheng, L.C. & Zhang, Z.G. 2010. The effect of the slip condition on the MHD stagnation-point over a power-law stretching sheet. *Applied Mathematics and Mechanics (English Edition)* 31: 439-448.

